

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Назаренко С. А. , канд. техн. наук

(Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина)

У доповіді формалізовані на єдиній комплексній науково-методологічній базі комп'ютерні технології мультифізичних процесів. Основоположним компонентом аналізу мультифізичних проблем є побудова пов'язаних моделей. Наведені приклади реалізованих інжинірингових розробок фізико-механічних процесів.

Ключові слова: комп'ютерні технології, фізико-механічні процеси, пов'язані моделі.

В докладе описаны формализованные на единой комплексной научно-методологической базе компьютерные технологии мультифизических процессов. Основоположающим компонентом анализа мультифизических проблем является построение связанных моделей. Приведены примеры реализованных разработок физико-механических процессов.

Ключевые слова: компьютерные технологии, физические процессы, связанные модели.

The rapid development of CAD/CAM/CAE/CIM/PLM systems is a worldwide trend. The research includes a brief summary of main scientific results of multidisciplinary modeling of loaded structures and technological systems. The basic component analyses of multiphysics problems are to build related models. Examples of implemented applications of physical and mechanical processes in the manufacture are presented.

Keywords: technological systems, multiphysics, supercomputer simulation based design.

Одна из ключевых тенденций развития техники состоит в постоянно расширяющемся применении систем компьютерного моделирования, обеспечивающих максимально адекватное реальности виртуальное отображение нагруженных конструкций и технологических систем и приобретающих все более мультидисциплинарный характер [1-7].

Для современных конструкций и технологических систем объединение физических процессов представляется сложной совокупностью разнородных взаимосвязанных задач. Мультифизическое моделирование предполагает использование данных отдельных дисциплин (Structural Mechanics; Computational Science, Fluid Dynamics, Heat Transfer, Material Science и др.) и их синтез с целью создания единой математической модели для всестороннего исследования технологических систем, получения о них целостного представления и системного знания.

Универсальный потенциал виртуального тестирования (компьютерного моделирования) позволяет существенно уменьшить

трудоемкие этапы экспериментальных исследований дорогостоящих макетов - образцов (Physical Prototyping) и перейти к более дешевой, оперативной, надежной и безопасной технологии апробации конструктивных реализаций с использованием цифровых многомерных моделей-прототипов (Digital Mock-Up, Digital Prototyping) [1-7].

Применение методики компьютерного проектирования “Simulation-Based Design” базируется на использовании многовариантного моделирования произвольных характеристик и технологических систем во всевозможных условиях производства и эксплуатации.

Многоуровневость, многокомпонентность, многостадийность и многокритериальность задач проектирования и производства; выполнение многомодельных и многовариантных расчетов нагруженных конструкций и технологических систем закономерно привели к появлению наукоемких технологий MultiDisciplinary, MultiPhysics & MultiScale (разработки компьютерных моделей, основанных на закономерностях взаимосвязи и взаимозависимости реальных физических процессов) [1-7].

При мультифизическом моделировании анализируются взаимосвязанные и взаимозависимые процессы с применением теоретических положений, данных и методов различных научных дисциплин. При этом оно шире суммы отдельных областей знаний, так как содержит междисциплинарные связи. Мультифизическое моделирование конструкций и технологических систем может быть многопрофильным “Multifield”, “Multidomain” и / или многомасштабным “Multiscale”.

Основной среди них является "мультиполевая" концепция “Multifield”, означающая связанную проблему с несколькими различными физическими дисциплинами (уравнениями, полями). Это обусловлено тем, что конструкции и технологические системы функционируют в условиях механических, тепловых, электромагнитных, аэро- и гидродинамических, акустических и радиационных нагрузений с учетом факторов контактных взаимодействий и разрушений, мало- и многоциклового усталости, концентрации напряжений, многообразных разновидностей изнашивания и прочее. Примером является химико- термическая обработка в условиях энергетической поляризации, ультразвукового и электрических полей.

Концепция "многодоменности" (“Multidomain”) представляет отображение взаимодействия между расчетными континуальными подобластями конструкций и технологических систем со значительно отличающимися свойствами (например, взаимодействия жидкость-структура, физико-химические превращения вещества и т. д.).

При построении математической модели процесс литья расплавленного металла в форму представляется как нестационарная задача течения вязкой неоднородной жидкости с учетом конвективного

теплообмена, фазовых переходов, взаимодействия различных сред (жидкого и застывшего сплава и вытесняемого из формы газа), изменения геометрии канала в ходе его заполнения.

В рамках исследований «MultiScale» технологических систем с многоуровневой структурой осуществляется последовательный переход от одномасштабных моделей к многомасштабным иерархическим нано – микро – мезо - макро моделям. При этом необходимо последовательно отобразить поведение и свойства отдельных компонентов структурно - неоднородных объектов (в первую очередь, материалов) на нано-, микро-, мезоуровнях, а всей конструкции — на макроуровне, определяемом характерными размерами агрегатов.

Концепция «MultiStage» реализуется для многостадийных этапов технологии “формирования и сборки” конкурентоспособной конструкции (например, литье, прокатка, экструзия, прессование, вырубка, формовка, штамповка, ковка, гибка, сварка, клейка, пайка и т. д.). При создании систем надо учитывать проблему технологической наследственности, что обуславливает необходимость применения имитационного моделирования, при котором математически воссоздается во времени процесс.

Основополагающим ингредиентом анализа мультифизических проблем является построение связанных моделей. При моделировании, наиболее полно приближенном к реальным условиям работы технологических систем, была предпринята попытка интегрировать различные по физической природе процессы к единой унифицированной схеме с использованием повторяемых и отлаженных этапов [1-7].

Системы автоматизированного моделирования литейных процессов (Magma, Procast, SolidCast, CastCAE, WinCast, «Полигон», LVMFlow и т.д.) моделируют с учетом взаимного влияния следующие процессы: тепловые (поля температур и долей жидких фаз), усадочно-фильтрационные (поля давлений и поля пористости), гидродинамические (поля скоростей), электрические (поля электрических потенциалов).

С содействием модуля для критериального анализа могут быть получены поля распределений других структурных параметров, прочности: твердости, пригара, размыва и пр.. Исследуя полученные на базе расчётной методики распределения температурно-фазовых полей в отливке и форме, количество жидкой фазы, поля скоростей и давлений, места возможного образования усадочных раковин и микропористости, траекторию и места скопления шлаковых частиц можно с минимальным количеством натурных экспериментов определять потенциал модификаций литейных технологических процессов.

На пример в ходе численного моделирования процесса литья корпуса поглощающего аппарата ПМКП-110 с помощью метода конечных объёмов были выявлены области отливки, становящиеся изолированными при застывании и в которых высока вероятность появления усадочных дефектов (рис 1). Отслеживалось также движение вброшенных в поток металла газовых и шлаковых частиц, обнаруживались области их концентрации. Полученные результаты совпали с отмечаемым на предприятии браком.

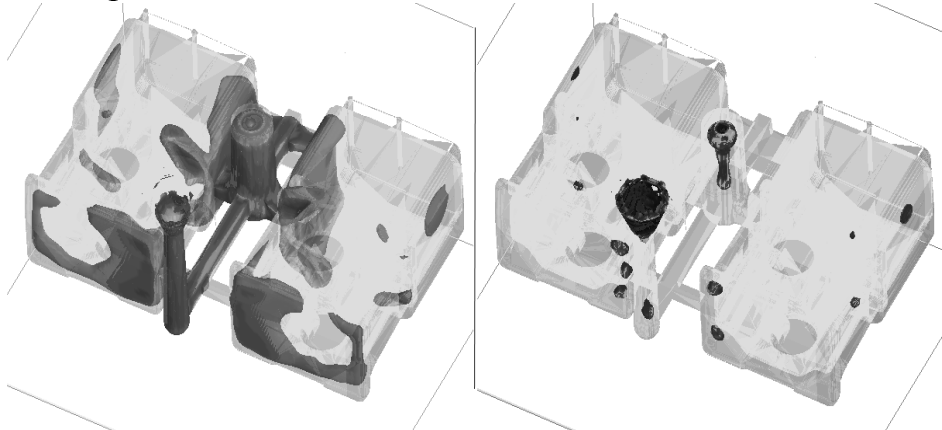


Рисунок 1 – Области жидкого металла и местоположение усадочных раковин

Список литературы: 1. Тимофеев Ю.В. Обобщенная структура жизненного цикла машиностроительного производства и его изделий/Ю.В. Тимофеев, В. А. Фадеев, М.С. Степанов, С.А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ».—2009.—№ 1.—С. 86–95. 2. Allison J.T. Multidisciplinary Design Optimization of Dynamic Engineering Systems / J.T. Allison, D.R. Herber // AIAA Journal.—2014.—Vol. 52.—№. 4.—Р. 691-710. 3. Степанов М.С. Разработка метода многодисциплинарной оптимизации механико-технологических систем / М.С. Степанов, С. А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ».—2010.—№ 24.—С. 32–40. 4. Martins J.R.R.A. Multidisciplinary design optimization: a survey of architectures / J. R.R. A. Martins, A.B. Lambe // AIAA journal.—2013.—Vol. 51.—№. 9.—Р. 2049-2075. 5. Назаренко С.А. Задачи оптимизации многокомпонентных тел неоднородной структуры / С. А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ».—2015.—№ 57 (1166)—С. 87–90. doi: 10.20998/2078-9130.2015.57.72583. 6. Martins J.R.R. A. Review and unification of methods for computing derivatives of multidisciplinary computational models / J.R.R.A. Martins, J. T. Hwang // AIAA journal. – 2013. – Vol. 51. – №. 11. – Р. 2582-2599. 7. Назаренко С. А. Математические модели мультифизического анализа конструкций для CALS технологий / С.А. Назаренко // Вісник НТУ «ХПІ».—2008.—№ 36.—С. 125–132.